

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERAS CIVILES**

**TEMA:
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MORTEROS DE
MAMPOSTERÍA CONTRA MORTEROS QUE CONTENGAN CENIZAS DEL
VOLCÁN SANGAY COMO MATERIAL CEMENTANTE
SUPLEMENTARIO”**

**AUTORAS:
MOPOSITA TENELEMA SANDRA JHOMAYRA
TAPIA GUZMÁN MARGARITA ESTHER**

**TUTOR:
BYRON IVÁN ALTAMIRANO LEÓN**

Quito, mayo del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Moposita Tenelema Sandra Jhomayra y Tapia Guzmán Margarita Esther, con documentos de identificación N° 0202510848 y N° 1727675082, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MORTEROS DE MAMPOSTERÍA CONTRA MORTEROS QUE CONTENGAN CENIZAS DEL VOLCÁN SANGAY COMO MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, mayo del 2021



Sandra Jhomayra Moposita Tenelema

CI: 0202510848



Margarita Esther Tapia Guzmán

CI: 1727675082

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, “EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MORTEROS DE MAMPOSTERÍA CONTRA MORTEROS QUE CONTENGAN CENIZAS DEL VOLCÁN SANGAY COMO MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO” realizado por Moposita Tenelema Sandra Jhomayra y Tapia Guzmán Margarita Esther, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, mayo del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'B. Iván A.L.' with a stylized flourish below it.

Ing. Byron Iván Altamirano León. MSc
Docente Carrera Ingeniería Civil

CI: 170930159-0

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MORTEROS DE MAMPOSTERÍA CONTRA MORTEROS QUE CONTENGAN CENIZAS DEL VOLCÁN SANGAY COMO MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO”

“COMPARATIVE EVALUATION OF MORTARS MASONRY AGAINST MORTARS CONTAINING ASH FROM SANGAY VOLCANO AS SUPPLEMENTAL CEMENTING MATERIAL”

Margarita Tapia Guzmán¹, Sandra Moposita Tenelema², Byron Altamirano León³.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar comparativamente morteros ordinarios de mampostería contra morteros que contengan ceniza del volcán Sangay como material cementante suplementario a través de la indagación directa en revistas digitales nacionales, documentos colgados en la web y mediante ensayos de laboratorio bajo las normas NTE INEN 2380, ASTM C1157, NTE INEN 2518 y ASTM C270. El análisis bibliográfico evidencia el problema de contaminación ambiental existente durante el proceso de elaboración del cemento, por lo que este estudio busca implementar como alternativa el uso de un porcentaje de ceniza en este material cementante, en consecuencia también el mortero, se aplicó la metodología cualitativa y cuantitativa, apoyada en análisis de resultados en laboratorio, observación sin control, exploración inductiva, entre otros métodos; como apoyo al desarrollo de cada uno de los puntos planteados para el avance sobre la Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario. Se pudo establecer una relación entre la técnica y la ciencia dentro del tema tratado y se evidencia que se puede utilizar la ceniza en bajas proporciones en conjunto con el cemento para obtener una trabajabilidad

Abstract

The objective of this research was to comparatively evaluate ordinary masonry mortars against mortars that contain ash from the Sangay volcano as a supplementary cementing material through direct investigation in national digital journals, documents posted on the web and through laboratory tests under the NTE INEN standards. 2380, ASTM C1157, NTE INEN 2518 and ASTM C270. The bibliographic analysis shows the problem of environmental contamination existing during the cement production process, so this study seeks to implement as an alternative the use of a percentage of ash in this cementing material, consequently also the mortar, the qualitative methodology was applied and quantitative, supported by analysis of laboratory results, uncontrolled observation, inductive exploration, among other methods; as support for the development of each of the points raised for the advance on the Comparative Evaluation of masonry mortars against mortars that contain ash from the Sangay volcano as supplementary cementing material. It was possible to establish a relationship between technique and science within the treated subject and it is evidenced

¹ Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

³ Docente de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

similar, comparándose sus resultados con morteros industrializados.

Palabras Clave: Cemento, ceniza, mampostería, mortero, resistencia a la compresión, volcán.

that ash can be used in low proportions in conjunction with cement to obtain a similar workability, comparing its results with industrialized mortars.

Keywords: Cement, ash, masonry, mortar, compressive strength, volcano.

1. Introducción

En la actualidad, la contaminación alcanzada mediante el proceso de elaboración del cemento ha provocado un desgaste medio ambiental [1], por lo cual se desea implementar a este material un porcentaje de ceniza, teniendo como objetivo no alterar las propiedades propias de dicho material.

La ceniza volcánica convertida a puzolana puede ser utilizada como material de construcción, la misma que es de origen natural en donde la puzolana está constituida de materia prima con la que se elabora el cemento, lo cual es uno de los componentes del hormigón, que posee características que pueden ser beneficiosas para el mismo.[2]

La utilización de materiales suplementarios o complementarios en el diseño de morteros es una realidad que ofrece gran variabilidad y flexibilidad de acuerdo con las necesidades del uso de la obra civil o método constructivo.[3]

El aspecto investigativo en el cual se enfocó esta indagación es determinar el efecto de la ceniza volcánica en la parte general de la mezcla, como lo es el mortero, por lo cual se realizará ensayos, para comprobar la reacción que puede tener este material, tanto en estado fresco y endurecido, por tal motivo existe la importancia de determinar las posibles variaciones en los parámetros esperados en el mortero.

2. Materiales y Métodos

La ceniza fue extraída de lugares en donde se asentó estas partículas transportadas por el viento principalmente de la provincia de los Ríos, cantón Montalvo.

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha. La “Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario” se realiza bajo las

normas INEN y ASTM en el laboratorio del Consejo Provincial de Pichincha ubicado en el sector de la Mitad del Mundo.

2.1 Caracterización del material

2.1.1 Cemento.

Para esta investigación se utilizó cemento de la marca Campeón de Selva legre tipo HS, diseñado para construcciones de hormigón en general, cumple con los requerimientos de la norma [4][5].[6]

2.1.2 Agua.

Para la mezcla se utilizó agua potable a temperatura ambiente (13 °C –23 °C).

2.1.3 Arena normalizada

Arena normalizada de sílice, compuesta casi en su totalidad de granos de cuarzo casi puro, redondeados naturalmente, utilizada para la preparación de mortero en las pruebas de cemento hidráulico, normas [7] [8].



Figura 1. Arena normalizada de sílice.

2.1.4 Arena

Este material fue proveniente de la mina Holcim de Pifo bajo las normas [9][10].

2.1.5 Ceniza

La ceniza que se utilizó fue proveniente del volcán Sangay. Para utilizar este material previamente se realizó un proceso de tamizado para eliminar residuos orgánicos a través de los tamices N° 100 y 200.



Figura 2. Ceniza del volcán Sangay.

2.1.6. Mortero para pegar bloques de compresión moderada, marca 1.

Pegablok Tipo N es un mortero cementicio modificado con aditivos de alta calidad, especialmente formulado para la instalación de bloques de concreto y de arcilla de compresión moderada en interiores y exteriores, sobre nivel de tierra.[11]

2.1.7. Mortero para pegar bloques de compresión moderada, marca 2.

Es un mortero cementicio para la instalación de bloques de concreto y de arcilla de compresión moderada en interiores y exteriores, sobre nivel de tierra.[11]

2.1.8 Granulometría

La arena utilizada en esta investigación fue adquirida de la planta Holcim de Pifo, este material fue seleccionado debido a las características similares a la de los agregados de los morteros industriales utilizados (INTACO y Facilito), normas [9][10].

2.2. Metodología

2.2.1 Acopio del material

Los agregados finos (arena normalizada y arena de Pifo) deben estar protegidos de agentes atmosféricos para que no altere el fin del material.

Los materiales cementantes (cemento y ceniza) deben estar protegidos de la humedad, si esta

almacenados en sacos deberá estar en un lugar seco y adecuado.

3. Resultados y discusión

3.1 Determinación de flujo en morteros, INEN 2500, INEN 2502, ASTM C 230-03 Y ASTM C 1437-01.



Figura 3. Mesa de flujo para morteros.

Tabla 1: Tamices utilizados para la arena normalizada. [7]

Características Gradación, porcentaje pasante del tamiz:	Arena 20 – 30	Arena Gradada
1,18 mm (No. 16)	100	100
850 μm (No. 20)	85 a 100	
600 μm (No. 30)	0 a 5	96 a 100
425 μm (No. 40)		65 a 75
300 μm (No. 50)		20 a 30
150 μm (No. 100)		0 a 4
Diferencia en el contenido de aire en morteros elaborados con arena lavada y sin lavar, % máx. de aire ^a	2,0	1,5 ^b
Fuente de arena	Ottawa, IL o LeSuer, MN	Ottawa, IL

^a Esta determinación es necesaria cuando se sospecha la contaminación de la arena, como se indica en 6.3.
^b La resistencia a la compresión en morteros según NTE INEN 488 (arena normalizada gradada), fabricados cuando se usa el cemento especificado en NTE INEN 152, NTE INEN 490 y NTE INEN 2380, puede reducirse aproximadamente un 4 % por cada porcentaje de aire en el cubo compactado. Sin embargo, pueden ser necesarias hasta tres amasadas con arena lavada y tres amasadas de arena sin lavar, para detectar una diferencia del 7 % en la resistencia entre morteros elaborados con arena lavada y otros sin lavar.

La relación entre arena normalizada de sílice y cemento es:

$$A = 2,75 C$$

Antes de realizar el mortero con cemento, cemento con ceniza y arena normalizada, se debe encontrar la cantidad de agua necesaria para llegar a una fluidez de 110 ± 5 %, por lo que se realizarán varias pruebas en cada caso para encontrar dicho porcentaje. [12][13][14][15]

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

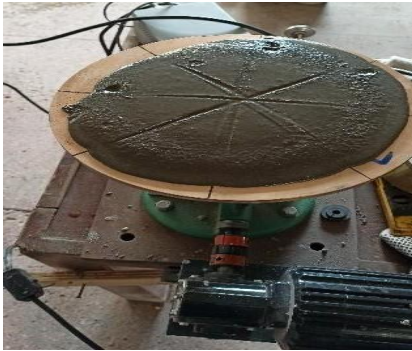


Figura 4. Mesa de flujo, lectura de diámetros.

Tabla 2: Materiales para la meza de flujo para cemento al 100%.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	350	gr
Arena Normalizada	962.5	gr

Tabla 3: Lecturas de diámetros de la mesa de flujo.

	Cantidad	Unidad
Cantidad de agua	188	gr
Lecturas	Medida	Unidad
Diámetro 1	22.1	cm
Diámetro 2	21.7	cm
Diámetro 3	21.7	cm
Diámetro 4	21.9	cm
Promedio	21.85	cm

$$F = \frac{\text{Promedio} - 101.6\text{mm}}{101.6\text{mm}} \times 100 = 115\%$$

Tabla 4: Materiales para la meza de flujo para 10% de ceniza.

Material	Cantidad	Unidad
Material cementante	350	gr
Cemento	315	gr
Ceniza	35	gr
Arena	962.5	gr

Tabla 5: Lecturas de diámetros de la mesa de flujo.

	Cantidad	Unidad
Cantidad de agua	205	gr
Lecturas	Medida	Unidad
Diámetro 1	20.8	cm
Diámetro 2	21.3	cm
Diámetro 3	20.9	cm
Diámetro 4	21.6	cm
Promedio	21.15	cm

$$F = \frac{\text{Promedio} - 101.6\text{mm}}{101.6\text{mm}} \times 100 = 108.17\%$$

Tal y como se muestra en los anteriores porcentajes, se realizó el mismo procedimiento para el 20, 30, 40 y 50% dando los siguientes resultados.

Tabla 6: Resumen de resultados de ensayo de mesa de flujo.

Material cementante	Cantidad de agua (g)	Fluidez (%)
Cemento	188	115
Cemento +10% ceniza	205	108
Cemento +20% ceniza	205	105
Cemento +30% ceniza	207	114
Cemento +40% ceniza	207	108
Cemento +50% ceniza	209	109

3.2. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista, INEN 488 y ASTM C 109/C 109M-07.



Figura 5. Morteros en cubos de 50 mm.

Para la realización de cubos de mortero la relación entre arena normalizada de sílice y cemento es [16][17]:

$$A = 2,75 C$$

Los tamices utilizados para este ensayo son los mismos que se muestran en la tabla 1.

Procedimiento:

1. Agregar la cantidad de agua en el recipiente de acuerdo con la relación encontrada en la meza de flujo.
2. Colocar el cemento en el recipiente y batir durante 30 segundos a 140 rpm.
3. Añadir la arena en el recipiente y batir por 60 segundos a 140 rpm.
4. Cambiar la velocidad por 30 segundos más 285 rpm.[18][19]

Luego de estos pasos se colocó en los moldes cúbicos mediante dos capas y 32 apisonados en varias direcciones como muestra la siguiente figura.

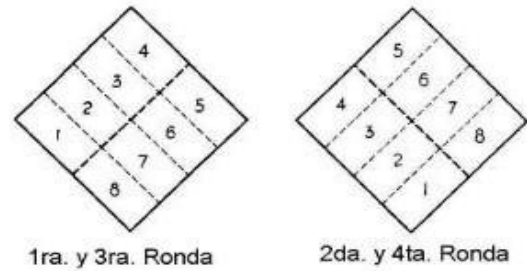


Figura 6: Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo. [16][17]

Las edades de medición de la resistencia a la compresión es 7 y 28 días para morteros de mampostería. [16][17]



Figura 7. Máquina para el ensayo de los cubos.

Tabla 7: Resultados promedio de ensayo de resistencia a la compresión para cemento (C) y diferentes porcentajes de ceniza para 7 y 28 días.

Muestras	Días	Área (cm ²)	Carga \bar{X} (N)	Resistencia \bar{X} (Mpa)	Desviación Estándar
C	7	25.3	40860.0	16.24	0.152
C	28	25.3	57204.0	22.56	0.191
10%	7	25.2	38653.3	15.36	0.075
10%	28	25.4	54180.0	21.37	0.061
20%	7	25.2	20313.3	8.07	0.089
20%	28	25.4	25513.3	10.06	0.473
30%	7	25.2	19253.3	7.65	0.267
30%	28	25.4	23926.7	9.44	0.681
40%	7	25.2	16906.7	6.72	0.343
40%	28	25.3	18240.0	7.22	0.529
50%	7	25.2	14786.7	5.88	0.438
50%	28	25.4	19146.7	7.55	0.366

3.2.1 Selección del Prototipo

Dado los resultados de la resistencia a la compresión con los distintos porcentajes de ceniza, gracias a la arena normalizada, se determinó la consistencia de los materiales, por lo que el porcentaje más adecuado es el 10%, proporcionando datos similares a la muestra base (cemento puro).

De este punto en adelante los ensayos se realizarán con los datos de la muestra base y el prototipo adicionado un diez por ciento (10% de ceniza) de ceniza en su contenido.

3.3 Determinación de la consistencia Normal, método de VICAT, normas INEN 157 y ASTM C 187-04.



Figura 8. Determinación de la consistencia normal.

En este sondeo se requiere 650 gr de material cementante y la cantidad de agua dada según se requiera para consistencia normal.

El ensayo consiste en realizar una mezcla de cemento y agua que sea capaz de mantenerse firme mientras se traslada 6 veces de una mano a otra, para luego ser colocada la masa en un molde tronco cónico para su respectiva prueba.

La masa debe permitir la penetración de 10 ± 1 mm para su consistencia normal. [20][21]

Tabla 8: Resultados de ensayo de la consistencia normal para cemento al 100 %.

Consistencia Normal		
Material	Medida	Unidad
Cemento	650	gr
Agua	180	gr
Penetración	1	cm

Tabla 9: Resultados de ensayo de consistencia normal para cemento al 90 % más 10% de ceniza.

Consistencia Normal		
Material	Medida	Unidad
Cemento	585	gr
Ceniza	65	gr
Agua	180	cm
Penetración	1.1	cm

3.4 Determinación del tiempo de fraguado, método de VICAT, normas INEN 158 y ASTM C 191-07.



Figura 9. Tiempo de fraguado, método de Vicat.

En esta norma se requiere 650 gr de material cementante y la cantidad de agua dada según ensayo de consistencia normal.[20][21]

Establecida la cantidad agua en 180 gramos, se elabora la masa para luego ser colocada en el molde tronco cónico, reservándola en un ambiente húmedo durante 30 minutos, después de transcurrir este tiempo se toma la primera

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

medida y se determina el tiempo de fraguado inicial y final.[22][23]

Tabla 10: Resultados de ensayo del tiempo de fraguado para cemento al 100 %.

Tiempo de Fraguado			
Nº	Tiempo (min)	Medida	Unidad
0	30	4	cm
1	45	2,4	cm
2	60	2,1	cm
3	75	1,8	cm
4	90	1,5	cm
5	105	1,2	cm
6	120	1	cm
7	135	0,8	cm
8	150	0,8	cm
9	165	0,7	cm
10	180	0,7	cm
11	195	0,7	cm
12	210	0,6	cm
13	225	0,6	cm
14	240	0,5	cm

Tabla 16: Resultados del tiempo de fraguado inicial y final para cemento al 100 %.

Tiempo de Fraguado			
	Tiempo (min)	Medida	Unidad
Inicial	45	2,4	cm
Final	240	0,5	cm

Tabla 11: Resultados de ensayo del tiempo de fraguado para cemento al 90 % más 10% de ceniza.

Tiempo de Fraguado			
Nº	Tiempo (min)	Medida	Unidad
0	30	4	cm
1	45	2,2	cm
2	60	2,1	cm
3	75	1,7	cm
4	90	1,5	cm
5	105	1,4	cm
6	120	1,2	cm
7	135	1,2	cm
8	150	1,1	cm
9	165	1,1	cm
10	180	1	cm
11	195	1	cm
12	210	0,7	cm
13	225	0,7	cm
14	240	0,7	cm
15	255	0,6	cm
16	270	0,6	cm
17	285	0,5	cm

Tabla 12: Resultados de tiempo de fraguado inicial y final para cemento al 90 % más 10% de ceniza.

Tiempo de Fraguado			
	Tiempo (min)	Medida	Unidad
Inicial	45	2,2	cm
Final	285	0,5	cm

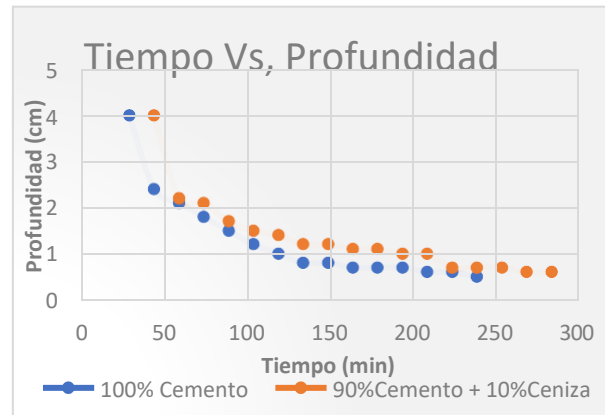


Figura 10. Curva tiempo de fraguado inicial, final.

3.5 Determinación de la expansión en Autoclave, normas INEN 200 y ASTM C 151-05.



Figura 11. Máquina para determinación la expansión por autoclave.

En este ensayo se requiere 650 gr de material cementante y la cantidad de agua dada según la consistencia normal.[20] [21]

Encontrada la cantidad de agua con la prueba de consistencia normal, se coloca la masa sobrante en moldes de 25x25x280mm para luego dejar en el gabinete húmedo durante 24 horas +- 30 minutos, acabado este tiempo se desmolda, se mide y se prepara la máquina de ensayo para ingresar las barras y dejarlas a 350 psi (equivalente a 2.41 Mpa) durante cuatro horas para exponerlas a un desgaste agresivo, se enfría el material hasta 23 C° para medir su expansión en Autoclave. [24][25]

Tabla 13: Datos de muestra base de cemento al 100%.

Muestras	Tamaño	ΔL (%)
1	285	0.8

Tabla 14: Medida de barras de cemento al 90 % más 10% de ceniza.

Muestras	Tamaño Inicial
1	285.11
2	290.23

Tabla 15: Lectura de barras en el comparador para cemento al 90 % más 10% de ceniza de la muestra 1.

	Muestra 1	
N.º	Lectura inicial	Lectura final
1	3.844	3.964
2	3.842	3.952
3	3.858	3.980
4	3.858	3.972
Promedio	3.8505	3.967

Tabla 16: Cambio de longitud en autoclave para cemento al 90 % más 10% de ceniza de la muestra 1.

Cambio de longitud ΔL (%)	
ΔL	0.047

Tabla 17: Lectura de barras en el comparador para cemento al 90 % más 10% de ceniza de la muestra 2.

	Muestra 2	
Nº	Lectura inicial	Lectura final
1	10.072	10.276
2	10.068	10.264
3	10.06	10.250
4	10.06	10.252
Promedio	10.065	10.2605

Tabla 18: Cambio de longitud en autoclave para cemento al 90 % más 10% de ceniza de la muestra 2.

Cambio de longitud ΔL (%)	
ΔL	0.078

3.6 Expansión de barras de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua, normas INEN 2529 y ASTM C 1038-04.

Con la misma relación de agua que se encontró en la mesa de flujo y la relación de cemento/arena se procede a realizar la masa para las cuatro barras que serán sometidas a agua a 23C°.[26][27]

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

Tabla 19: Expansión de barras de mortero, lecturas iniciales de las barras.

Espécimen	Medida Inicial (cm)
1	29.00
2	29.00
3	28.80
4	28.80

A. Prueba de ensayo para muestra base, cemento al 100%

Tabla 20: Determinación de cambio de longitud en las barras (100% cemento) de cada muestra.

Muestras	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Cambio de longitud ΔL (%)
1	5.194	5.243	0.019
2	5.483	5.533	0.020
3	5.393	5.446	0.022
4	4.670	4.730	0.024

B. Prueba de ensayo para cemento al 90% más 10% de ceniza

Tabla 21: Determinación de cambio de longitud en las barras 90% cemento y 10% ceniza de cada muestra.

Muestras	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Cambio de longitud ΔL (%)
1	4.893	4.938	0.018
2	3.858	3.913	0.022
3	3.789	3.835	0.018
4	4.593	4.645	0.021

3.7 Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato, normas INEN 2503 y ASTM C 1012-04.



Figura 12. Barras de mortero sumergidas a una solución de sulfato.

Para este ensayo se requiere de arena normalizada bajo las normas [7][28].

La relación agua/cemento se utiliza la misma encontrada en la mesa de flujo para el ensayo de compresión de cubos.

Con el mismo procedimiento especificado en las normas [18],[16],[17] y [19], se realiza la mezcla para luego proceder a colocar el mortero en los moldes metálicos.

Estas muestras enmoldadas son sumergidas en agua, cubriendo la superficie de la muestra con plástico o acrílico para que el agua no afecte a la muestra, el tiempo que debe permanecer de esta manera es 23 ½ horas +- 30 minutos.

El tiempo de curado antes de ser ingresadas las 6 barras en sulfato es de 28 días, en este tiempo los cubos moldeados en conjunto con las barras cumplieron más de los 20 Mpa requeridos en las normas antes detalladas.

El líquido para sumergir las seis barras fue preparado 24 horas antes de colocar las mismas bajo su influencia. Esta preparación consta de 50 gr de sulfato disuelto en 100 gr de agua destilada, y, a su vez disuelta en 1 litro de agua,

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

a esta solución se agrega un litro más de agua para su preparación final.[29][30]

Las medidas presentadas en el siguiente apartado representan a dos meses y medio de toma de estas, esto quiere decir 10 medidas, suficientes para predecir el crecimiento en seis y doce meses mediante una fórmula polinómica y programación en MATLAB.

Tabla 22: Resultados de expansión de barras de cemento al 100%.

Expansión en barras de cemento al 100%						
Muestras	1	2	3	4	5	6
Semana 0 (%)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Semana 1 (%)	0,004	0,002	0,008	0,002	0,006	0,000
Semana 2 (%)	0,004	0,004	0,012	0,004	0,008	0,004
Semana 3 (%)	0,010	0,006	0,012	0,004	0,010	0,008
Semana 4 (%)	0,012	0,008	0,020	0,010	0,012	0,008
Semana 5 (%)	0,014	0,012	0,024	0,012	0,012	0,012
Semana 6 (%)	0,016	0,014	0,028	0,012	0,016	0,016
Semana 7 (%)	0,016	0,016	0,028	0,016	0,020	0,016
Semana 8 (%)	0,020	0,016	0,034	0,024	0,024	0,020
Semana 9 (%)	0,022	0,020	0,036	0,028	0,028	0,020
Semana 10 (%)	0,028	0,024	0,040	0,034	0,032	0,024

La programación da como resultado el crecimiento de todos los especímenes observando que en su mayoría a partir del año su expansión empieza a decrecer, con exactitud la barra 3 es la que demuestra que en el año de exposición al sulfato esta detiene su crecimiento.

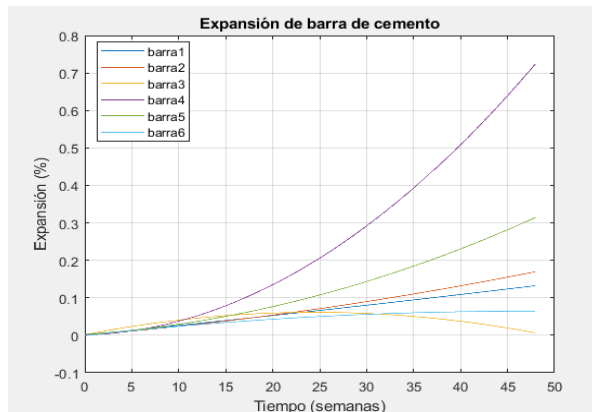


Figura 13. Expansión de barras de cemento.

Tabla 23: Resultados de expansión de barras de cemento al 90% más 10% de ceniza.

Expansión en barras al 90% de cemento + 10% de ceniza						
Muestras	1	2	3	4	5	6
Semana 0 (%)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Semana 1 (%)	0,014	0,000	0,002	0,000	0,008	0,004
Semana 2 (%)	0,014	0,002	0,004	0,002	0,012	0,004
Semana 3 (%)	0,020	0,004	0,004	0,002	0,016	0,012
Semana 4 (%)	0,020	0,004	0,006	0,004	0,020	0,018
Semana 5 (%)	0,024	0,006	0,008	0,010	0,024	0,024
Semana 6 (%)	0,030	0,008	0,012	0,016	0,028	0,028
Semana 7 (%)	0,032	0,012	0,014	0,020	0,032	0,036
Semana 8 (%)	0,036	0,014	0,020	0,028	0,036	0,040
Semana 9 (%)	0,038	0,016	0,022	0,032	0,040	0,046
Semana 10 (%)	0,040	0,016	0,028	0,034	0,044	0,048

Para las barras con el diez por ciento de ceniza da como resultado que, al año, estas empiezan a decrecer en su mayoría, es decir a partir del año su crecimiento será más lento y casi nulo en ciertos especímenes.

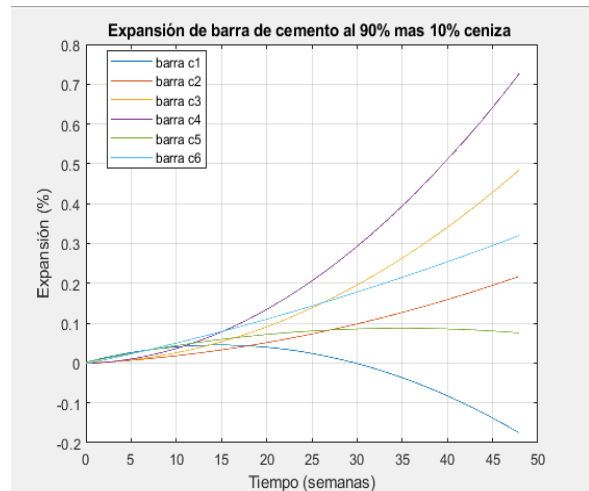


Figura 14. Expansión de barras de cemento al 90% más el 10% de ceniza.

3.8 Determinación de la finura del material cementante, normas INEN 196 y ASTM C 204-05.



Figura 15. Ensayo de finura Blaine del cemento.

Mediante la maquina el ensayo de Blaine se determina la finura del material con ayuda de dos muestras que fueron colocadas en la celda y con un émbolo para ser puesta en el acople hembra de la máquina. Luego de esto se abre la válvula y se ejerce presión mediante una bomba manual, la cual permite elevar el aceite hidráulico hasta la señal normada en el aparato, luego se cierra la abrazadera y se empieza a medir el tiempo de caída hasta la marca establecida por norma. [31][32]

Tabla 24: Determinación de la finura del cemento hidráulico mediante el equipo de permeabilidad al aire “BLAINE”.

MUESTRA N°	1	2
Temperatura ambiente(°C)	20	
Humedad relativa	56	
Superficie específica de la muestra normalizada (m ³ /kg) SS	381.8	381.8
Tiempo de caída del manómetro para la muestra de ensayo (s) T	70	75
Tiempo de caída del manómetro para la muestra de ensayo normalizada (s) Ts	87.33	87.33
Superficie específica de la muestra de ensayo (m ² /kg) S	341.83	353.82

PROMEDIO (m ² /kg) S	347.82
---------------------------------	--------

Tabla 25: Determinación de la finura del cemento hidráulico más el 10% de ceniza mediante el equipo de permeabilidad al aire “BLAINE”.

MUESTRA N°	1	2
Temperatura ambiente(°C)	20	
Humedad relativa	56	
Superficie específica de la muestra normalizada (m ³ /kg) SS	381.8	381.8
Tiempo de caída del manómetro para la muestra de ensayo (s) T	92	81
Tiempo de caída del manómetro para la muestra de ensayo normalizada (s) Ts	87.33	87.33
Superficie específica de la muestra de ensayo (m ² /kg) S	391.88	367.7
PROMEDIO (m ² /kg) S	379.79	

3.9 Determinación del contenido de aire de la muestra base y el material cementante (cemento más ceniza), normas INEN 195 y ASTM C 185-02.



Figura 16. Contenido de aire.

Para este ensayo se requiere realizar una nueva prueba de mesa de flujo para encontrar la cantidad de agua para una relación de cemento arena (1:4) para llegar a una fluidez de 87.5 ± 7 como requiere la norma.[33][34]

Tabla 26: Porción de cantidades usadas para la determinación de la fluidez al 100% de cemento.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	350	gr
Arena	1400	gr

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

Tabla 27: Determinación de la fluidez al 100% de cemento.

Ensayo de Fluidez		
	Cantidad	Unidad
Cantidad de agua	314.44	gr
	Medida	Unidad
Diámetro 1	19.7	cm
Diámetro 2	19.3	cm
Diámetro 3	19.5	cm
Diámetro 4	20.1	cm
Promedio	19.65	cm

$$F = 93,41 \%$$

Tabla 28: Porción de cantidades usadas para la determinación de la fluidez al 90% de cemento y 10% de ceniza.

Material	Cantidad	Unidad
Material cementante	350	gr
Cemento	315	gr
Ceniza	35	gr
Arena	1400	gr

Tabla 29: Determinación de la fluidez al 90% de cemento y 10% de ceniza volcánica.

Ensayo de Fluidez		
	Cantidad	Unidad
Cantidad de agua	324.2	gr
	Medida	Unidad
Diámetro 1	17.9	cm
Diámetro 2	18.9	cm
Diámetro 3	18.5	cm
Diámetro 4	18.2	cm
Promedio	18.38	cm

$$F = 80.86 \%$$

Para encontrar el contenido de aire se requiere un molde que contenga 400 cm³, la masa se llenara en dicho molde en tres capas iguales, cada capa requiere 20 golpes alrededor de la superficie, terminado este procedimiento, dar unos pequeños golpes alrededor del recipiente para eliminar el aire atrapado y por

último realizar la medición de las masas correspondientes.[33][34]

Tabla 30: Determinación del contenido de aire al 100% de ceniza.

100% de cemento	Masa	Unidad
Cemento	350	gr
Arena	1400	gr
Agua	314.44	gr
Valor en % de Agua de mezclado	89.84	%
Peso del molde	3176.00	gr
Peso molde + mezcla	3990	gr
Peso de mezcla	814.00	
Contenido de aire	5.97	%

Tabla 31: Determinación del contenido de aire al 90% de cemento y 10% de ceniza.

90% de cemento+10% de ceniza	Masa	Unidad
Cemento	315	gr
Ceniza	35	gr
Arena	1400.00	gr
Agua	324.2	gr
Valor en % de Agua de mezclado	92.63	%
Peso del molde	3176	gr
Peso molde + mezcla	4010.00	gr
peso de mezcla	834	gr
Contenido de aire	3.13	%

3.10 Determinación de la densidad de la muestra base de cemento, ceniza y cemento más ceniza, normas INEN 156 y ASTM C 188-03.



Figura 17. Frascos Le Chatelier.

La determinación de la densidad consiste en la relación entre el material cementante sumergido y el volumen desplazado.[35][36]

El líquido utilizado fue gasolina, el cual fue ingresado al frasco de Le Chatelier hasta la marca de 0 a 1 cm³ impuesta en este, para luego incorporar 64 gr de ceniza, cemento y la mezcla de los dos respectivamente en cada uno de los recipientes. Se debe agitar hasta que los vacíos salgan y las partículas se acoplen entre ellas, terminado esto, observar la marca hasta la cual se desplazó el líquido y realizar los respectivos cálculos.

Tabla 32: Determinación del contenido de aire al 90% de cemento y 10% de ceniza.

Descripción	Cemento	Ceniza	Cemento+Ceniza al 10%
Material Cementante (gr)	64	64	64
Volumen desplazado (cm ³)	20.80	21.70	21.20
Densidad (g/cm ³)	3.08	2.95	3.02
Gravedad específica	3.08	2.95	3.02

3.11 Diseño de la mezcla de mortero con arena de Pifo, normas INEN 2518 y ASTM C 270-08.

A. Morteros en estado plástico

A.1 Trabajabilidad para mortero con arena de Pifo

La trabajabilidad de la masa es la propiedad más importante del mortero en estado plástico. Aunque esta propiedad no es medida, el obrero en el montaje de la mampostería puede observar la textura, absorción o retención de agua durante la colocación de la mezcla en obra.[37][38]

A.2 Flujo para mortero con arena de Pifo



Figura 18. Fluidez para mezclas de mortero.

Para el diseño de la mezcla se requiere realizar nuevamente la prueba de flujo para encontrar la cantidad de agua para una relación 1:3 entre cemento y arena respectivamente, basándose en el procedimiento de las normas [12] y [15].

La fluidez en este caso dependerá de la trabajabilidad de la masa, comúnmente la normativa exige 75% de retención de agua mínima y un flujo inicial de 105 a 115% [37][38], el propósito de este mortero, que es el pegado de mampostería, se vio que la fluidez está en un rango de 110% en adelante.

Tabla 33: Porción de material para mortero con el 100% de cemento.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	150	gr
Arena	450	gr

Tabla 34: fluidez con el 100% de cemento.

Ensayo de Fluidez		
	Cantidad	Unidad
Cantidad de agua	140	gr
	Medida	Unidad
Diámetro 1	21.2	cm
Diámetro 2	21.8	cm
Diámetro 3	21.8	cm
Diámetro 4	21.7	cm
Promedio	21.63	cm

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

$$F = 112.84 \%$$

Tabla 35: Porción de material para Mortero con el 90% de cemento y 10% de ceniza.

Material	Cantidad	Unidad
Material cementante	150	gr
Cemento	135	gr
Ceniza	15	gr
Arena	450	gr

Tabla 36: fluidez con el 90% de cemento y 10% ceniza.

Ensayo de Fluidez		
	Cantidad	Unidad
Cantidad de agua	140	gr
Lecturas	Medida	Unidad
Diámetro 1	22.3	cm
Diámetro 2	21.9	cm
Diámetro 3	21.8	cm
Diámetro 4	21.7	cm
Promedio	21.93	cm

$$F = 115.84 \%$$

A.3 Retención de agua y capacidad de retención de agua.

La retención de agua es una medida de la habilidad de un mortero sometido a absorción, para retener el agua de la mezcla. Esta propiedad del mortero da tiempo al obrero para el colocado de la mampostería y ajustar una unidad sin que este se haya endurecido. [37][38]

A.4 Características de endurecimiento

Esta propiedad en estado plástico se relaciona directamente con el tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado inicial es muy importante para que el obrero pueda trabajar con facilidad al momento del pegado de las unidades de mampostería, un fraguado prematuro no permitiría la corrección o nivelación de la pared. La velocidad de endurecimiento

conveniente ayuda al obrero a un mejor acabado de las juntas.[37][38]

B. Morteros en estado endurecido

B.1 Adherencia



Figura 19. Adherencia en las mamposterías.

La adherencia es la propiedad más importante en estado endurecido, aunque es impredecible su resultado al tener varios factores que pueden alterar o mejorar el resultado final (colocación, contenido de aire, textura, absorción, capacidad de retención, condiciones de curado, etc.) [37][38]

La adherencia tiene tres aspectos: resistencia, extensión y durabilidad. Un solo ensayo no bastaría para predecir su resultado. Para este caso se ha utilizado el procedimiento de ensayo de la norma [35], la cual requiere de armar una mampostería en forma de viga y cuya carga será aplicada al tercio medio del prototipo.[39][40]

Tabla 37: Carga de ruptura de las vigas de mampostería con cemento a los 28 días.

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Edad (días)	28	28	28	28	28
Largo (mm)	620	610	610	620	620

Tapia & Moposita / Evaluación comparativa de morteros de mampostería contra morteros que contengan cenizas del volcán Sangay como material cementante suplementario.

Ancho (mm)	200	200	200	200	200
Carga de ruptura (kg)	170	170	160	160	150
Carga de ruptura (N)	1667.7	1667.7	1569.6	1569.6	1471.5
Módulo de ruptura (Mpa)	1.23	1.21	1.15	1.17	1.11

Tabla 38: Carga de ruptura de las vigas de mampostería de cemento más ceniza a los 28 días.

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Edad (días)	28	28	28	28	28
Largo (mm)	610	610	620	620	620
Ancho (mm)	200	200	200	200	200
Carga de ruptura (kg)	140	120	120	140	120
Carga de ruptura (N)	1373.4	1177.2	1177.2	1373.4	1177.2
Módulo de ruptura (Mpa)	1.03	0.91	0.93	1.05	0.93

La ruptura en ambos casos se asemeja, pero sin duda el de mayor valor es las mamposterías que tienen mortero con cemento al cien por ciento. Las fallas en las vigas con uniones de mortero de cemento fueron en diagonal y alejadas de las uniones en su totalidad, mientras que las vigas con el diez por ciento de ceniza dos de las cinco fallaron cerca de las uniones y dentro de ellas.

B.2 Resistencia a la compresión

La dosificación para los cubos de mortero será la misma con la que se determinó la fluidez. El procedimiento para la elaboración de los cubos

es el mismo que se empleó en el ensayo con la arena normalizada de las normas [16] y [17].



Figura 20. Ensayos de la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm de aristas.

Tabla 39: Resistencia a la compresión de los testigos con cemento al 100% a los 7 y 28 días.

Muestras	Día	Área (cm ²)	Carga (N)	Resistencia (Mpa)
1MC	7	25.020	23040	9.21
2MC	7	25.050	22630	9.04
3MC	7	25.180	22850	9.08
4MC	28	25.130	43890	17.47
5MC	28	25.346	43740	17.26
6MC	28	25.200	44600	17.70

Tabla 40: Resistencia a la compresión de los testigos de cemento al 90% más 10% de ceniza. a los 7 y 28 días.

Muestras	Día	Área (cm ²)	Carga (N)	Resistencia (Mpa)
1MCC	7	25.020	15630	6.25
2MCC	7	25.050	15950	6.37
3MCC	7	25.180	16490	6.55
4MCC	28	25.130	30650	12.20
5MCC	28	25.346	29880	11.79
6MCC	28	25.200	30960	12.29

B.3 Durabilidad

Este estado dependerá de donde este expuesta la mampostería, por ejemplo, los antepechos se encuentran expuestos a la lluvia y al congelamiento por lo que tendrá que

considerarse realizar un mortero más durable. [37][38]



Figura 21. Mamposterías expuestas a la intemperie.

B.4 Extensibilidad y flujo plástico



Figura 22. Máquina y testigo para el ensayo de tracción.

La extensibilidad es medida por la máxima tracción o rotura, es decir que indica la mayor elongación posible por rotura. Morteros de baja resistencia con baja elasticidad presentan mayor flujo plástico. [37][38]

Se prueba en la mesa de flujo la consistencia del material a ensayar, en este caso su fluidez dio 110+- 5 %, la cantidad de material para seis muestras a ensayar es: 400g de cemento (incluido el 10% de ceniza), 1200g de arena, 298,99g de agua, dando una fluidez de 111%.

Una vez hecha la mezcla se va colocando en los moldes, cuya forma se asemeja a un hueso, con los dedos índices se va fijando el mortero para que se vaya amoldando la mezcla y luego

se da un golpe con un mazo de caucho para que se vayan acomodando las partículas.

Se deja reposar por 24 h +- 30 minutos a 23 C° +- 2°C para luego ser desmoldado y dejado las muestras en agua con cal durante las edades a ensayar (7 y 28 días).[41]

Tabla 41: Resistencia de los testigos a tracción a los 7 días cemento más ceniza.

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Edad	7	7	7
Ancho (mm)	27	26.420	27
Espesor (mm)	27	27.230	27
Masa (g)	137	138.110	140
Carga de ruptura (kg)	129.55	125.00	127.27

Tabla 42: Resistencia de los testigos a tracción a los 28 días cemento más ceniza.

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Edad	28,0	28,0	28,0
Ancho	26,5	25,9	26,5
Espesor	27,4	26,8	26,6
Masa	141,3	136,2	138,1
Carga de ruptura (kg)	232,7	211,4	222,7

3.12. Morteros Industrializados

Con el propósito de conocer los resultados que deberían tener los prototipos para los diferentes ensayos se adquirió dos tipos de morteros industrializados con los cuales se comparará los resultados obtenidos en los ensayos de compresión.

a. Marca 1, normas INEN 2518 y ASTM 270.

En las indicaciones de preparación de este mortero requiere una cantidad de agua de 4.2 a 4.5 litros por cada 25 kg de material por lo que

haciendo un cálculo se encontró cuánta agua se agregará para moldear 9 cubos de ensayo.

Tabla 43: Porción de material.

Ítem	Cantidad	Unidad
Material	2775	gr
Agua	499	gr

Tabla 44: Resistencia de los testigos a compresión a los 7 y 28 de morteros industrializados.

Muestras	Día	Área (cm ²)	Carga (N)	Resistencia (Mpa)
1C	7	25.020	6560	2.62
2C	7	25.050	6400	2.56
3C	7	25.180	7200	2.86
4C	28	25.130	13690	5.45
5C	28	25.346	14170	5.59
6C	28	25.200	14050	5.58

b. Marca 2, normas INEN 2518 y ASTM 270.

En las indicaciones de preparación de este mortero requiere una cantidad de agua de 1.5 litros por cada 9.07 kg de material por lo que haciendo un cálculo se encontró cuánta agua se agregará para moldear 9 cubos de ensayo.

Tabla 45: Porción de material.

Ítem	Cantidad	Unidad
Material	2775	gr
Agua	460	gr

Tabla 46: Resistencia de los testigos a compresión a los 7 y 28 de morteros industrializados.

Muestras	Día	Área (cm ²)	Carga (N)	Resistencia (Mpa)
1C	7	25.020	8620	3.45
2C	7	25.050	8600	3.43
3C	7	25.180	9200	3.65
4C	28	25.130	13030	5.19
5C	28	25.346	14450	5.70
6C	28	25.200	14390	5.71

4. Conclusiones

Se puede observar que en la mesa de flujo la cantidad de agua que aumenta es directamente proporcional a la mezcla que contiene ceniza cuando se incrementa la porción con arena normalizada, mientras que cuando se realiza el mismo ensayo para únicamente cemento, cemento más ceniza y mortero con arena común, la cantidad de agua es inversamente proporcional, advirtiendo diferentes reacciones químicas en sus agregados finos.

Se puede concluir que la arena normalizada ayuda encontrar una mejor relación en la consistencia de los materiales, es decir, en este caso, entre el cemento y la ceniza, mientras menos ceniza es mejor el material cementante ya que su cantidad en demasía hace que el testigo sea frágil, en este estudio se escogió el 10% de ceniza.

En el ensayo de finura se evidenció que la superficie específica de la muestra de ensayo en el cemento es menor a la que lleva el cemento con el 10% de ceniza, dando como resultado una $S = 347.82 \text{ m}^3/\text{kg}$ por segundo en el cemento puro y una $S = 379.79 \text{ m}^2/\text{kg}$ por segundo del material cementante que lleva el 10% de ceniza.

Se observó que el tiempo de fraguado es directamente proporcional a la superficie específica de la muestra (a mayor tiempo de fraguado mayor superficie específica), la diferencia de tiempo entre muestras es de 45 minutos a favor del modelo que presentaba el 10% de ceniza en la mezcla, debido a las características físicas/químicas de la ceniza.

Durante el ensayo de contenido de aire se pudo determinar que en la muestra que lleva el 10% de ceniza tiene menos contenido de aire ya que en sus partículas el agua se llena, disminuyendo así la cantidad de aire que puede contener el material, dando un valor de $C =$

3,13%, menor al del cemento que fue de C=5,97%.

La resistencia del diseño de mortero de este estudio sobrepasa a la resistencia de ofrecer un mortero industrializado, dando a entender que es posible integrar este producto al mercado.

El tipo de mortero con arena de Pifo según las especificaciones por propiedades es del tipo S, siendo los valores de la resistencia a la compresión cercanos a este valor.

La mayoría de las investigaciones encontradas sobre sustitución de ceniza en materiales cementantes estaban basadas para el desarrollo de hormigones y con diferentes tipos de cementos por lo que no se pudo comparar los resultados obtenidos.

5. Referencias

- [1] A. E. D. Galeas and C. F. A. Guzmán, "Propuesta de dosificación de hormigón reemplazando el cemento en diferentes porcentajes de peso, con ceniza volcánica del Tungurahua; identificando la influencia de utilizar la fracción fina, gruesa y completa," 2019, [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20728>.
- [2] R. A. Torres, "Materiales Y Métodos De Construcción En La Antigua Roma," 2014, [Online]. Available: https://www.academia.edu/37678437/MATERIALES_Y_MÉTODOS_DE_CONSTRUCCIÓN_EN_LA_ANTIGUA_ROMA.
- [3] E. V. Erik Castro, "Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por puzolana de ceniza volcánica en el diseño de hormigón," p. 131, 2020.
- [4] NTE INEN 2380, "Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos," *Inst. Ecuatoriano Norm.*, vol. 1, no. Primera Edición, p. 5, 2011, [Online]. Available: <http://181.112.149.203/buzon/normas/2380.pdf>.
- [5] ASTM C1157, "Hydraulic Cement 1," vol. 04, pp. 1–6.
- [6] Selvalegre, "Campeón HS," pp. 68–70, 2018.
- [7] INEN 873, "ECUATORIANA NTE INEN 873," 2017.
- [8] ASTM C778, "Standard Specification for Ferrotungsten," *October*, vol. 73, no. Reapproved, pp. 1–2, 1990.
- [9] INEN 872, "NTE INEN 872: Áridos para hormigón. Servicio Ecuatoriano de Normalización," p. 16, 2010.
- [10] ASTM C33, "NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or," vol. 05, no. September, pp. 98–100, 1998.
- [11] INTACO, "Pegablok ® tipo N," 2020.
- [12] INEN 2502, "Cemento Hidráulico. Determinación del Flujo en Morteros," vol. 2502, 2009.
- [13] INEN 2500, "Instituto Ecuatoriano de Normalización," *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 21, 2006.
- [14] ASTM C230, "Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement 1," *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 4–9, 2010.
- [15] American Society of Testing and Materials C 1437, "ASTM C1437-01 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar," *ASTM Int.*, pp. 7–8, 2001, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Standard+Test+Method+for+Flow+of+Hydraulic+Cement+Mortar#0>.
- [16] INEN 488, "Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de 50 mm de Arista," *Inst.*

- Ecuadoriano Norm.*, p. 19, 2009.
- [17] ASTM C 109/C 109M, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars,” *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 04, pp. 1–6, 2002.
- [18] NTE INEN 155, “Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica,” *Inst. Ecuadoriano Norm.*, 2009.
- [19] ASTM C305, “Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency,” *ASTM International*, pp. 1–3, 2011.
- [20] INEN 157, “Cemento Hidráulico. Determinación De La Consistencia Normal. Método De Vicat,” *Inst. Ecuadoriano Norm.*, pp. 1–5, 2009.
- [21] ASTM C187, “Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement, C 187 – 04,” *Astm*, vol. i, no. C, pp. 1–3, 2004.
- [22] INEN NTE 158, “Determinación del tiempo de fraguado, Método VICAT,” *Ecuador*, 2010.
- [23] ASTM C191, “NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or discontinued . Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information . Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars,” *Glass*, vol. 04, no. May, pp. 1–6, 1999.
- [24] 2009 INEN 200, “Instituto Ecuatoriano de Normalización,” *Inst. Ecuadoriano Norm.*, p. 21, 2006.
- [25] ASTM C 151-98a, “Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement,” *ASTM Int.*, vol. C, no. September 2000, pp. 4–6, 2000.
- [26] INEN_2529, “Instituto Ecuatoriano De Electrificación,” pp. 16–931, 2019.
- [27] ASTM C1038, “NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or discontinued . Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information . Standard Test Method for Plane-Strain (Chevron-Notch) Fracture Toughness of,” pp. 1–11, 2013.
- [28] ASTM_C778, “NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or discontinued . Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information . Standard Classification System for,” *Society*, pp. 1–6, 1994.
- [29] INEN 2503, “Instituto Ecuatoriano De Normalización,” 2009.
- [30] ASTM C1012/C1012M-15, “Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution,” *ASTM Int. West Conshohocken, PA*, vol. 11, pp. 5–9, 2015.
- [31] INEN 196, “Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire,” 2009.
- [32] American Society for Testing and Materials C 204, “Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability,” no. February 1997, p. 8, 2000.
- [33] INEN 195, “Determinación del contenido de aire en morteros,” *Inst. Ecuadoriano Norm.*, p. 15, 2010, [Online]. Available: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000_extracto.pdf.
- [34] ASTM C185, “NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or discontinued . Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information . Standard Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement,” pp. 315–319, 1994.

- [35] INEN 156, “Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, 2009.
- [36] ASTM C188, “Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement,” *ASTM Int.*, vol. 95, no. C, pp. 1–3, 2009.
- [37] INEN 2518, “Instituto Ecuatoriano De Electrificación,” pp. 16–931, 2019.
- [38] ASTM C270, “Standard Specification for Mortar for Unit Masonry: C270-14a,” *ASTM Int.*, vol. July, no. November 2003, pp. 1–14, 2012, [Online]. Available: www.astm.org.
- [39] T. Brick and Tile, “Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry 1,” pp. 1–5, 2010.
- [40] ASTM E518, “Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry 1,” pp. 1–5, 2010.
- [41] ASTM_C307, “Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar , Grouts , and,” *Test*, vol. 03, no. Reapproved 2008, pp. 1–4, 2011.